



## Klimarobuste træarter til fremtidens skove

### Ægte kastanje

Hansen, Jon Kehlet; Olrik, Ditte C.; Proschowsky, Gunnar Friis; Kjær, Erik Dahl

*Publication date:*  
2019

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Document license:*  
[Ikke-specificeret](#)

*Citation for published version (APA):*  
Hansen, J. K., Olrik, D. C., Proschowsky, G. F., & Kjær, E. D. (2019). *Klimarobuste træarter til fremtidens skove: Ægte kastanje*. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport



# Klimarobuste træarter til fremtidens skove

## Ægte kastanje

Jon Kehlet Hansen, Ditte Christina Olrik, Gunnar Friis Proschowsky, Erik Dahl Kjær



Jon Kehlet Hansen, IGN, [jkh@ign.ku.dk](mailto:jkh@ign.ku.dk), +45 35 33 16 35

Ditte C. Olrik, Naturstyrelsen Nordsjælland, [dicol@nst.dk](mailto:dicol@nst.dk), +45 72 54 32 97

Gunnar Friis Proschowsky, Naturstyrelsen Nordsjælland, [gfr@nst.dk](mailto:gfr@nst.dk), +45 72 54 36 79

Erik Dahl Kjær, IGN, [edk@ign.ku.dk](mailto:edk@ign.ku.dk), +45 35 33 16 24

December 2019

# Indholdsfortegnelse

<b>FORORD .....</b>	<b>3</b>
<b>FORMÅL .....</b>	<b>4</b>
<b>KLIMASCENARIER .....</b>	<b>4</b>
<b>KRITERIER FOR VALG AF FRØKILDER .....</b>	<b>5</b>
<b>ÆGTE KASTANJE (CASTANEA SATIVA MILL.).....</b>	<b>10</b>
Udbredelse og klima .....	10
Sygdomme og skadevoldere .....	11
Vedkvalitet .....	12
Genetisk diversitet og variation.....	13
<b>Valg af potentielt interessante frøkilder .....</b>	<b>14</b>
Den vestlige og centraleuropæiske genpulje.....	14
Den sydøsteuropæiske genpulje.....	19
Den tyrkiske genpulje .....	20
Bruttoliste med potentielt interessante frøkilder .....	20
<b>REFERENCER .....</b>	<b>23</b>

Billede forside: Den kårede bevoksning F.859 Svenstrup med ægte kastanje (*Castanea sativa*).  
Foto: Bruno Bilde Jørgensen, IGN, Københavns Universitet

## Forord

Naturstyrelsen Nordsjælland startede, med støtte fra 15. juni fonden, i 2017 projektet ”Klimarobuste træer til fremtidens skove”. Sigtet med projektet er at anlægge forsøg med nye provenienser af ægte kastanje (*Castanea sativa*), avnbøg (*Carpinus betulus*), bøg (*Fagus sylvatica*) og almindelig valnød (*Juglans regia*). Forsøgene vil på sigt kunne fungere som frøkilder. IGN bidrager i forbindelse med projektet med rapporter med begrundede forslag til provenienser til forsøgene. Rapporterne fungerer som baggrundsrapporter for artikler i bl.a. SKOVEN. Dette er den første rapport som giver kriterierne for valg af provenienser og mere specifikt giver nogle anbefalinger mht. valg af provenienser af ægte kastanje.

Rapporten har været sendt til ekstern kvalitetssikring hos Professor Jens Peter Skovsgaard, Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre.

## Formål

Projektet: ”Klimarobuste træer til fremtidens skove” er initieret i lyset af, at det fremtidige klima sandsynligvis vil ændre sig med en hastighed, der ikke tidligere er set hverken i tiden efter sidste istid (Holocene) eller de foregående 5 millioner år (Moritz & Agudo 2013).

En hurtig ændring i klimaet kan betyde, at nogle træarter, eller provenienser indenfor træarterne, ikke kan nå at tilpasse sig gennem migration, naturlig eller menneskeskabt selektion. Forringelse af overlevelse og vækst kan betyde, at det i fremtiden vil være relevant at dyrke arter og provenienser, som i dag har deres hovedudbredelse syd for Danmark. Dyrkningen af disse kan samtidig blive begunstiget af et klimaskifte. Projektet sigter mod at anlægge forsøg, der kan bruges til at vurdere egnetheden af arter og provenienser fra Syd- og Mellemeuropa. I forsøgene vil der indgå enkelte danske frøkilder som standarder. Forsøgene anlægges, så de på sigt potentielt vil kunne fungere som frøkilder.

## Klimascenarier

I Olesen et al. (2014) opsummeres resultaterne fra en række regionale klimamodeller, som er baseret på to scenarier for udledningen af drivhusgasser, hhv. RCP2.6 og RCP8.5. I scenarierne forventes den gennemsnitlige temperatur globalt at stige hhv. 1,0 °C og 3,7 °C i forhold til referenceperioden 1986-2005. For Danmark viser fremskrivninger af klimaet vha. regionale klimamodeller med udgangspunkt i hhv. RCP2.6 og RCP8.5, at temperaturen her kan stige hhv. 1,2-1,3 °C eller 3,9-4,0 i forhold til referenceperioden (se Tabel 1). Temperaturstigningen forventes at være jævnt fordelt over året. For nedbøren ser det ud til, at den vil øges efterår, vinter og forår og forblive på samme niveau som i dag eller mindskes om sommeren (Tabel 1). Udover sandsynligheden for mindre ned-

Tabel 1. Forventede temperatur- og nedbørsændringer for Danmark (gennemsnitlig for perioden 2081-2100) i forhold til referenceperioden 1986-2005 for to klimascenarier RCP2.6 og RCP8.5. Tallene i parentes angiver usikkerheden (+/- standardafvigelsen) på middelværdien for 23 regionale klimamodel kørsler (gengivet fra Olesen et al. 2014).

	Temperatur [°C]		Nedbør [%]	
	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
Årlig	1.2 (±0.5)	3.7 (±1.0)	1.6 (± 4.6)	6.9 (± 6.1)
Vinter	1.2 (±0.7)	3.7 (±0.9)	3.1 (± 7.9)	18 (± 12.0)
Forår	1.2 (±0.5)	3.2 (±0.8)	3.7 (± 11.1)	10.7 (± 12.6)
Sommer	1.2 (±0.8)	4.0 (±1.5)	-0.5 (± 9.6)	-16.6 (±21.0)
Efterår	1.3 (±0.6)	4.0 (±1.1)	0.8 (± 7.2)	10.2 (± 10.9)

bør i vækstsæsonen vil sandsynligheden for længerevarende tørkeperioder stige, og mere af nedbøren forventes at falde i form af ekstrem nedbør (Olesen et al. 2014). Den øgede nedbør i vinterhalvåret kan potentielt også være skadelig, for eksempel hvis den giver anledning til oversvømmelser i foråret (Geßler et al. 2007). Det skal tilføjes, at der for Nordeuropas vedkommende er en vis sandsynlighed for, at klimaet bliver *koldere* end i dag, især som følge af øget afsmeltning af indlandsisen på Grønland. Sandsynligheden angives til ca. 18 % (Sgubin et al. 2017). Det er usikkert om perioder med kulde om vinteren vil blive længere end i dag (Woolings et al. 2018).

Ved en stigning i minimumstemperaturerne i foråret på ca. 1 °C vil temperaturerne i Danmark nærme sig de temperaturer, der i dag ses i det sydlige Tyskland og nordlige Frankrig (Figur 1). Ved en stigning på ca. 3 °C vil minimumstemperaturen i foråret nærme sig den, som i dag er almindelig i det centrale og sydvestlige Frankrig (Figur1). Skov et al. (2006) har prøvet at vurdere hvilke arter, der ud fra klimaet i deres nuværende naturlige bevoksninger, potentielt vil kunne vokse i Danmark i fremtidens klima. De fandt, at klimaet i Danmark i år 2100 vil svare til det klima, der i dag findes i centrale dele af udbredelsesområderne for arter som ægte kastanje (*Castanea sativa*), avnbøg (*Carpinus betulus*), bøg (*Fagus sylvatica*) og almindelig valnød (*Juglans regia*). Dette er arter, som alle indgår i dette projekt.

## Kriterier for valg af frøkilder

I forbindelse med opsporingen af udenlandske frøkilder som mulige kandidater til afprøvning er der taget udgangspunkt i europæiske frøkilder, som er godkendt til skovbrug, inklusiv klonfrøplantager. Allerede forædlet eller afprøvet materiale er vægtet højt, da det forventes at kunne opfylde skovbrugsmæssige krav til kvalitet med det samme. Desuden er det et mål at få frøkilder med fra forskellige formodede refugieområder under sidste istid samt fra områder med høj genetisk diversitet i håb om at sikre et stort tilpasningspotentiale. Her er det relevant at forsøge at få frø fra naturlige bevoksninger hvis der ikke er frøkilder rettet mod skovbrug i det givne område.

Ved valg af frøkilder er der desuden fokus på risikoen for frostskafer. Det skyldes en forventning om, at frostskafer fortsat vil have stor dyrkningsmæssig betydning, selv med de forventede temperaturstigninger. Frostskaferne vil opstå ved for tidligt udspring i forhold til forekomst af forårsfrost eller i forbindelse med for sen afmodning i forhold til forekomst af efterårsfrost.

I et litteraturstudie viste hovedparten af studierne med nåletræarter og løvtræarter, at tidspunktet for dannelsen af endeknopper ved vækstafslutning var tidligere ved hhv. stigende breddegrad (omsat til

faldende temperatur ( $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{breddegrad}$ ) og højde over havet (ligeledes omsat til faldende temperatur ( $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ )). Derimod var der ikke nogen entydig sammenhæng mellem udspring og hhv. breddegrad og højde over havet på tværs af arter (Alberto et al. 2013). I danske populationer af dunbirk (*Betula pubescens*) og småbladet lind (*Tilia cordata*) er der fundet en statistisk sikker sammenhæng mellem udspring og minimumstemperatur i hhv. marts og maj og tendenser, der er tæt på statistisk signifikante, for hassel og vintereg (Lobo et al. 2018a, 2018b).

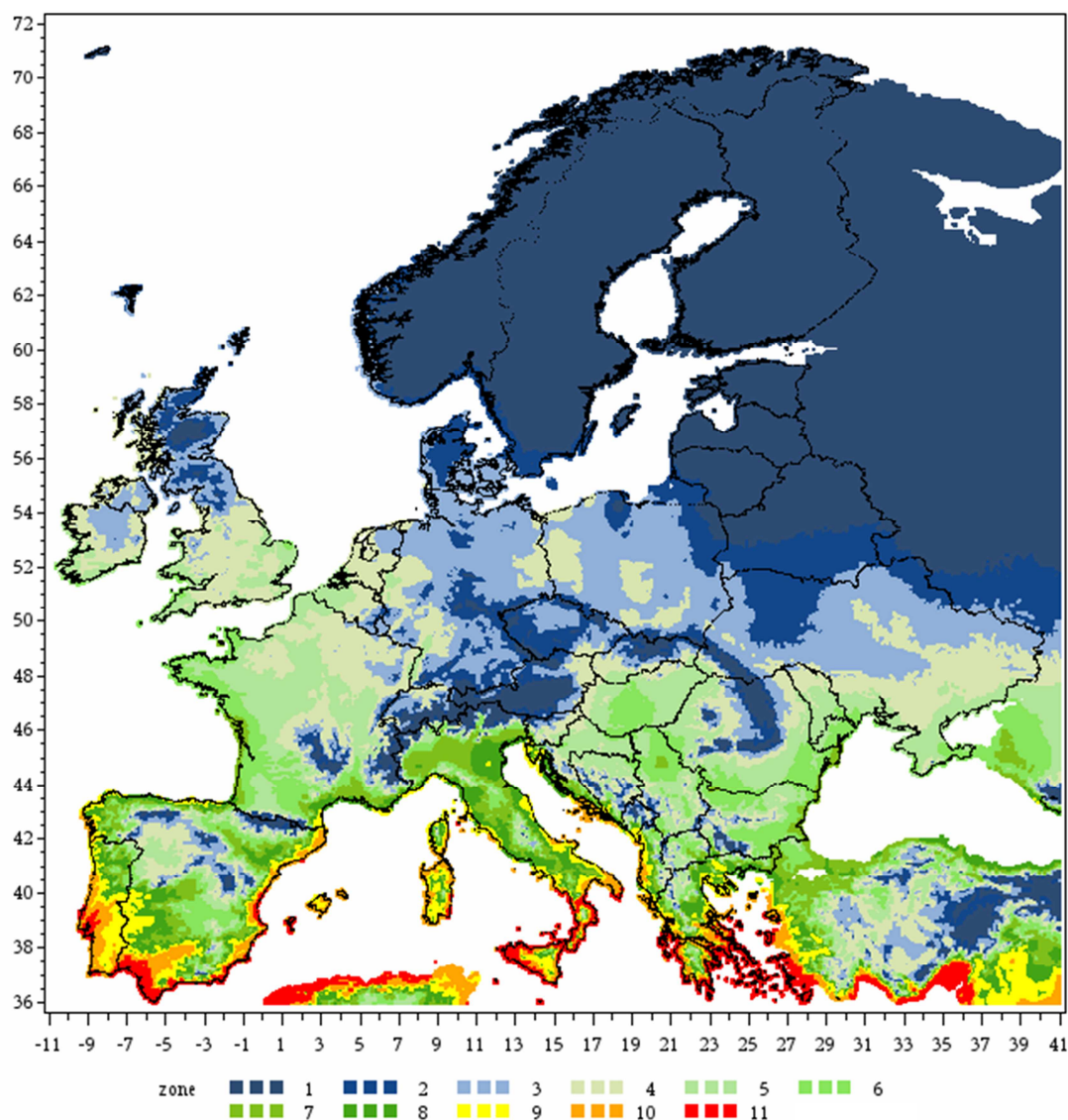
Udsprings- og afmodningsundersøgelser i proveniensforsøg med bøg har vist, at vestlige provenienser har et senere udspring end østlige og sydøstlige provenienser (Wühlisch et al. 1995, Chmura & Rozkowski 2002, Robson et al. 2013) og senere afmodning (Chmura & Rozkowski 2002). En senere afmodning blandt vestlige provenienser er også observeret i stilkeg (Jensen & Hansen 2008).

I større klimaresponsundersøgelser, baseret på en række proveniensforsøg med samme provenienser gentaget på en række lokaliteter, har et fastlandsklimaindeks (udtrykt som forskellen mellem gennemsnitstemperaturen i varmeste måned og koldeste måned) vist sig at have betydning i forhold til vækst og overlevelse i contortafyr og vækst i skovfyr (Rehfeldt et al. 1999, Rehfeldt et al. 2002).

Foreløbige resultater fra to bøgeproveniensforsøg i Danmark viser en vis sammenhæng mellem udspring og et fastlandsklimaindeks. Foreløbige resultater fra en forsøgsrække på tre lokaliteter med vinteregeprovenienser viser desuden en sammenhæng mellem fastlandsklimaindekset og overlevelse (Hansen upubl. data).

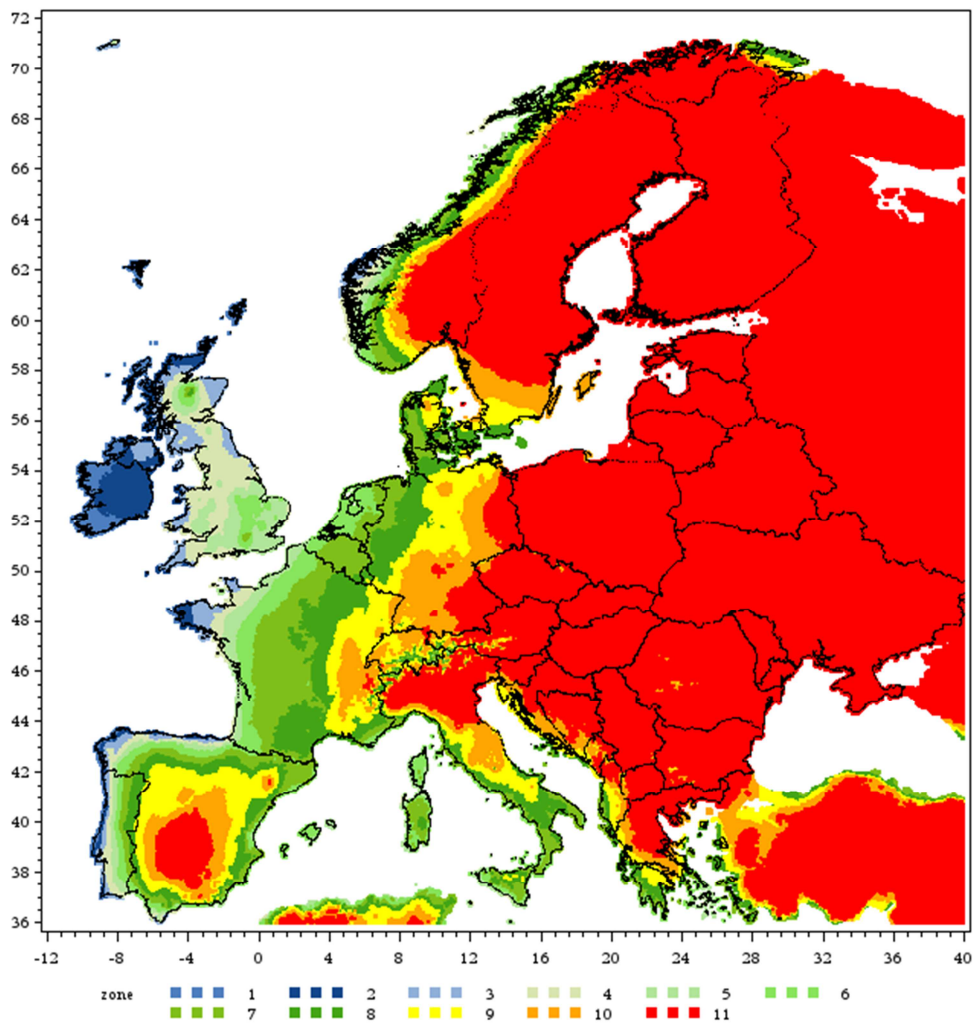
I dette projekt vælges frøkilderne over gradienter mht. minimumstemperaturer i foråret og et fastlandsklimaindeks (Figur 1 og Figur 2). Minimumstemperaturen i foråret og efteråret er stærkt korreleret, og der er også en forholdsvis høj korrelation mellem minimumstemperatur i foråret og årlig middeltemperatur. F.eks. er korrelationen mellem estimerne for minimumstemperatur i foråret (marts, april, maj) og årlig middeltemperatur for 560 frøkilder af kastanje i Europa 0,80. Korrelationen mellem minimumstemperatur i efteråret og årlig middeltemperatur er 0,83 og korrelationen mellem minimumstemperatur i forår og efterår 0,93.

Frøkilderne er opdelt til klimazoner efter minimumstemperatur i foråret (med én grads interval) og fastlandsklimaindeks (ligeledes én grads interval). Inden for disse klimazoner er der valgt frøkilder, som ligger i områder med høj genetisk diversitet – primært i form af høj allelrigdom. Hvis muligt er der valgt allerede beskrevne frøkilder med høj diversitet.



Figur 1: Gennemsnitlig minimumstemperatur i foråret for 1961-1990 ( $T_{min}$ ). Klimazoner baseret på ClimateEU (Hamann et al. 2013). Zone 1:  $T_{min} \leq 2$  °C, zone 2:  $2$  °C <  $T_{min} \leq 3$  °C, zone 3:  $3$  °C <  $T_{min} \leq 4$  °C, ... zone 11:  $11$  °C <  $T_{min}$ .





Figur 2. Gradient i fastlandsklima udtrykt ved forskellen mellem gennemsnitstemperaturen i varmeste måned og koldeste måned (TD). Zone 1:  $TD < 10^{\circ}\text{C}$ , 2:  $10 < TD \leq 11$ , ...,  $11 < TD$ .

I puljen af afprøvningsegnete frøkilder er der så vidt muligt valgt frøkilder, som allerede anvendes til skovbrugsformål, dvs. med følgende prioritering: afprøvet > kvalificeret > udvalgt > lokalitetsbestemt. Ofte er der flere frøkilder, end det er muligt at afprøve. I udvælgelsen af frøkilder er der derfor tilstræbt en geografisk spredning ud fra forventningen om, at frøkilderne dermed også vil repræsentere en større genetisk spredning.

Derudover tages der hensyn til, hvordan lokaliteten med frøkilden er mht. koldeste måned på året i forhold til en mild lokalitet i Danmark. Endelig er estimer for første og sidste dag af frostfri perioder for potentielle frøkilder sammenlignet med en mild lokalitet i Danmark. Anlæggene forventes

anlagt på en forholdsvis mild lokalitet for at sikre den bedste overlevelse for sydligt genetisk materiale. Et materiale som kan være værdifuldt når klimaet i Danmark sandsynligvis bliver varmere. Der vælges flest frøkilder fra lokaliteter, hvis klima adskiller sig mindst fra det danske klima (vurderet på grundlag af de valgte klimavariabler). Der er brugt klimaestimer for perioden 1961-1990 fra ClimateEU v4.63 portalen (metoder forklaret i Hamann et al. 2013). Klimaestimer for en temperaturmæssig mild lokalitet i Danmark er fundet som det ”gitter” i ClimateEU, der har den højeste minimumstemperatur i foråret. Alle sammenligninger til et dansk klima refererer til ovenstående klimaestimer.

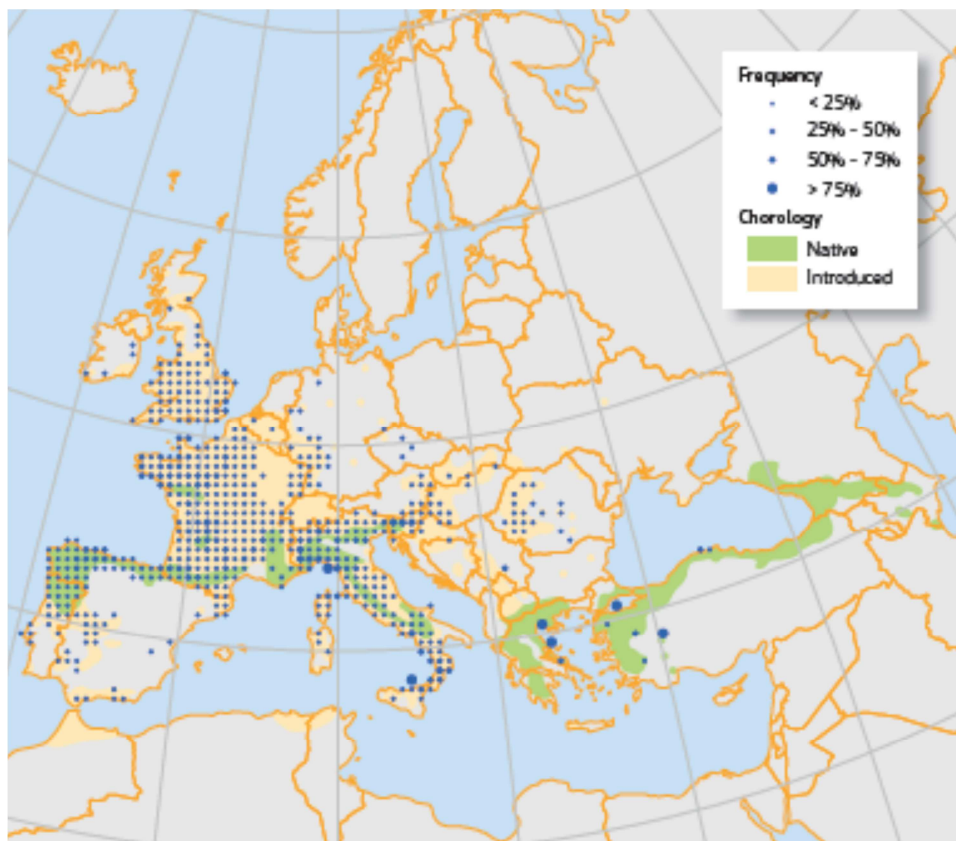
Frøkilder er især opsporet via EU-databasen FOREMATIS (<http://ec.europa.eu/forematis/>), hvor der for de fleste europæiske lande findes en liste over frøkilder til skovbrugsformål. I enkelte tilfælde (Frankrig og Schweiz) findes der kun delvist eller slet ingen oversigt over frøkilder til skovbrug i FOREMATIS. Oplysninger om frøkilder er i Schweiz indhentet hos Swiss Federal Research Institute (WSL) og oplysningerne om de franske frøkilder via det franske landbrugsministerium (Liste nationale des matériels de base forestiers admis en France) Databasen EUFGIS har for enkelte arter været brugt til at opspore genbevaringsbevoksninger. Det er sket i tilfælde, hvor frøkilder fra andre databaser ikke er vurderet til at være tilstrækkelige til at dække et bestemt område (f.eks. områder karakteriseret ved høj allelrigdom). I anlægsrapporterne vil det som minimum fremgå hvor frøkilden er fra (bredde- og længdegrad, højde over havet), kåringskategori (lokalitetsbestemt, udvalgt, kvalificeret eller afprøvet) og om der er tale om afkom fra bevoksninger eller frøplantager og frøplantagens navn.

Udvælgelsen af frøkilder hvor der overvejende tages hensyn til genetisk diversitet og få klimavariabler relateret til frostskaader er naturligvis forholdsvis simpel. Frøkilderne er med stor sandsynlighed tilpasset en række biotiske og abiotiske forhold, herunder jordbund, interaktioner mellem jordbund, topografi og klima og andre klimaforhold, som f.eks. tørke i vækstsæsonen.

## Ægte kastanje (*Castanea sativa* Mill.).

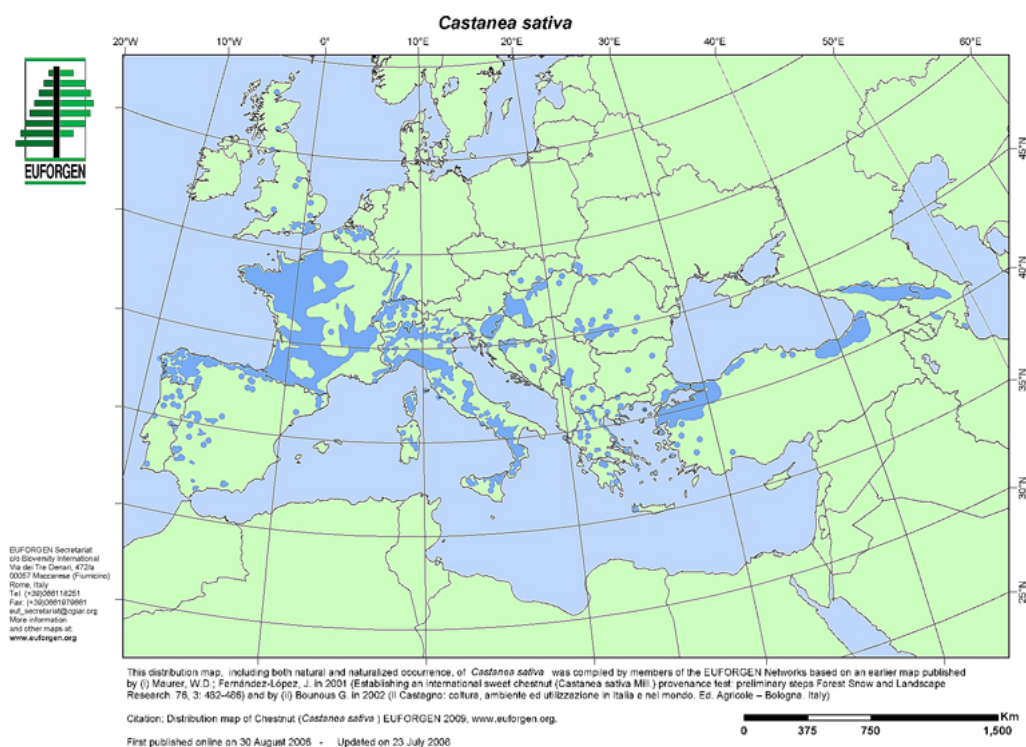
### Udbredelse og klima

Den naturlige udbredelse strækker sig fra det vestlige Spanien til Tyrkiet og Georgien (se Figur 3 og 4). Den gennemsnitlige årstemperatur for populationer i det naturlige udbredelsesområde ligger mellem 8 og 15 °C, og temperaturen i den koldeste måned ligger mellem ca. -5 og 10 °C. Der kan i det naturlige udbredelsesområde forekomme forårsfrost (Conedera et al. 2016). Til sammenligning lå gennemsnitstemperaturen i den koldeste måned mellem -4,7 og 3,9, -4,8 og 3,2 og -4,2 og 3,5 °C på målestationer i hhv. Vestervig, København og Tranebjerg for perioden 1981-2010 (data fra Cappelen 2012). Disse målestationer vurderes at ligge på milde lokaliteter efter danske forhold. Med andre ord har der i den seneste 30-års periode været vintertemperaturer, der ligger indenfor det in-



Figur 3. Kort over formodet naturlig udbredelse af ægte kastanje (grøn) og forekomst som følge af introduktion (gul). Kortet viser samtidigt, hvor hyppigt ægte kastanje optræder i skovstatistiske opgørelser (fra Conedera et al. 2016).

terval, som forekommer i ægte kastanjes naturlige udbredelsesområde. Der er dog i Danmark erfaringer med vinterskader, og bl.a. de hårde vintre i 1940'erne gav kambiumskader på ægte kastanje (Holten 1953).



Figur 4. Kort over udbredelse af ægte kastanje ifølge EUFORGEN. Inkluderer områder, hvor arten formodes naturligt udbredt, og hvor den er naturaliseret (Distribution map of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) EUFORGEN 2009, [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org)).

## Sygdomme og skadevoldere

Den mest alvorlige sygdom hos ægte kastanje er sandsynligvis kastanjebrænd (sweet chestnut blight), som forårsages af svampen *Cryphonectria parasitica*. Svampen inficerer gennem sprækker eller sår i barken. Symptomerne ses ofte i form af indsunken barknekroser med røde pustler eller opsvulmet bark efter flere overgroning. Træet dør ovenfor angrebet, men kan skyde nedefor (Forestry Commission 2018). Kastanjebrænd stammer fra Asien, men er blevet spredt til det nordvestlige Amerika og er også observeret i en række lande i Europa. Kastanjebrænd i Europa blev første gang registreret i Italien i 1938. Kun få lande i Europa blev i 2017 anset som fri for sygdommen – herunder Danmark, Storbritannien, Tjekkiet, Irland, Polen, Norge og Sverige (Forestry Commission

2018). Omfanget af kastanjekræft er formindsket i enkelte områder af Europa i de senere år, sandsynligvis pga. en virus som nedsætter kastanjekræfts virulens og formering (Trapiello et al. 2019).

Der er en række andre patogener, som ligeledes kan være alvorlige for ægte kastanje – herunder *Amphiortha castanea*, *Diplodina castaneae*, *Phytophthora cinnamomi* og *Phytophthora cambivora* (Conedera et al. 2016).

De to arter *Phytophthora cinnamomi* og *Phytophthora cambivora* inficerer via rodnettet eller barken, dræber finrødderne og forårsager barknekroser og slår i mange tilfælde kastanjetræerne ihjel. De tidlige symptomer ses i form af gule blade og visne skudspidser (Robin et al. 2006; Vannini & Vetraino 2011). Der er en genetisk variation i resistens mod *Phytophthora cinnamomi* (Miranda-Fontaíña et al. 2007; López-Villamor et al. 2018), men helt resistente genotyper er sandsynligvis sjældne (Cuenca et al. 2009). For *Phytophthora cambivora* er der ligeledes fundet en genetisk variation i resistens i form af udbredelse efter inokulation mellem populationer og mellem familier (Robin et al. 2006).

Endelig er der en række insekter, som nedsætter produktionen af nødder. Orientalsk kastanjegalhveps (*Dryocosmus kuriphilus*), som stammer fra Østasien, kan dog også nedsætte væksten og i værste fald forårsage, at kastanjetræerne dør (Gibbs et al. 2011; Conedera et al. 2016).

## Vedkvalitet

Tømmer af ægte kastanje har desværre meget ofte radiale stammerevner (stjerneskøre) og tangentielle stammerevner (ringskøre), som oftest i vårveddet. Hyppigheden af træer med stammerevner er sjældent under 30 % og kan i værste fald omfatte alle træer i bevoksninger med ægte kastanje (Chanson et al. 1989, Fonti et al. 2002b, Conedera et al. 2016, Husmann et al. 2013). Ægte kastanje plantes af samme grund sjældent med henblik på vedproduktion i Storbritannien (Savill 2019). Prisen for tømmer af ægte kastanje i Frankrig afspejler kvalitetsforskellene, men kan gå op til over 300 € per m<sup>3</sup> (Ducousso pers. medd.). Finerkævler af høj kvalitet kan opnå salgspriser på op til 1,000 € per m<sup>3</sup> (Skovsgaard & Graversgaard 2019).

I det sydøstlige England var stammerevner mest udtalt hos træer med sent udspring, kort udspringsperiode og store vedkar (træer med store celler i vårveddet (vedkar) springer senere ud end træer med små celler i vårveddet. Derudover var forekomsten afhængig af alder, udspringstidspunkt og andelen af vårved (Mutabaruka et al. 2005). Podninger fra træer med og uden stammerevner har vist klare forskelle i udspringstidspunkt (Mutabaruka et al. 2015). Sammenhængen mellem karstørrelser

og stammerevner svarer til, hvad der er fundet for stilkeg og vintereg (Savill 1986; Savill & Mather 1990; Mather et al. 1993). Fonti et al. (2002a) fandt dog ikke en signifikant forskel i antal af kar eller i karstørrelse i vårveddet i prøver fra stammer med eller uden tangentielle stammerevner.

Undersøgelser har endvidere vist en sammenhæng mellem stammerevner og smalle årringe (Fonti & Sell 2003), stor andel af marvstråler (Fonti & Frey 2002), store variationer i væksten fra år til år (Husmann et al. 2013), ligesom der er fundet forskelle i ligninkompositionen blandt træer med og uden stammerevner (Vinciguerra et al. 2011).

## **Genetisk diversitet og variation**

Den genetiske diversitet er undersøgt forholdsvis grundigt for både naturlige og indførte populationer i Europa (Fernández-Cruz & Fernández-López, 2016; Mattioni et al. 2017). Populationerne kan grupperes i tre genpuljer – en vest- og centraleuropæisk genpulje, en sydøsteuropæisk genpulje (overvejende Grækenland, Bulgarien og sydlige Rumænien) og en tyrkisk genpulje (Mattioni et al. 2017). Der er endvidere indikationer af, at der eksisterer en separat atlantisk genpulje i det nordvestlige Spanien (Mattioni et al. 2008; Fernández-Cruz & Fernández-López 2016).

Indenfor den vest- og centraleuropæiske genpulje er der en tendens til, at den højeste diversitet findes i det nordlige Italien (Appenninerne) og det sydlige Italien (Fernández-Cruz & Fernández-López 2016; Mattioni et al. 2017). I den sydøsteuropæiske genpulje er der tendens til højere diversitet i Grækenland. I den tyrkiske genpulje er der en tendens til højest diversitet blandt vestlige populationer (Mattioni et al. 2017).

Et tørkestressforsøg med familier fra 48 frit bestøvede træer fra seks populationer viste en forholdsvis høj genetisk variation for total tørvægt indenfor en syditaliensk og en græsk population (Pliura & Eriksson, 2002). Det lille antal populationer i forsøget af Pliura & Eriksson (2002) gør det ikke muligt at se et mønster i variationen, men indikerer, sammen med undersøgelsen af Mattioni et al. (2017), at det kunne være interessant at få materiale med fra det sydlige Italien. Set i lyset af erfaringer med ædelgran i Danmark (Larsen 1981) er både Syditalien og Karpaterne i Rumænien af potentiel interesse.

Flere undersøgelser har påvist en ret høj heritabilitet i resistens overfor *Phytophthora cinnamomi* (Miranda-Fontaíña et al. 2007, Dinis et al. 2011) og endvidere i vækst, stammerethed og fænologi (Míguez-Soto & Fernández-López 2012, Míguez-Soto & Fernández-López 2015). Endelig er der belæg for at antage, at der er en genetisk variation i stammerevnedannelsen (Fonti et al. 2002b).

Forædling for resistens overfor kastanjekræft er kun undersøgt i begrænset omfang. Hidtidige resultater har vist en forholdsvis lille genetisk variation i resistens (Bazzigher 1981), men som nævnt tidligere kan skaderne pga. kastanjekræft måske også begrænses gennem introduktion af en virus (Trapiello et al. 2019).

## **Valg af potentielt interessante frøkilder**

Den geografiske placering af frøkilder af ægte kastanje opgivet i FORESMATIS og nationale lister med frøkilder til forstlige formål fra Tyskland, Frankrig og Schweiz er vist i figur 5. Bevoksninger fra hhv. Tyrkiet og det sydlige Italien i figur 5 er dog genbevaringsbestande opsporet via EUFGIS databasen.

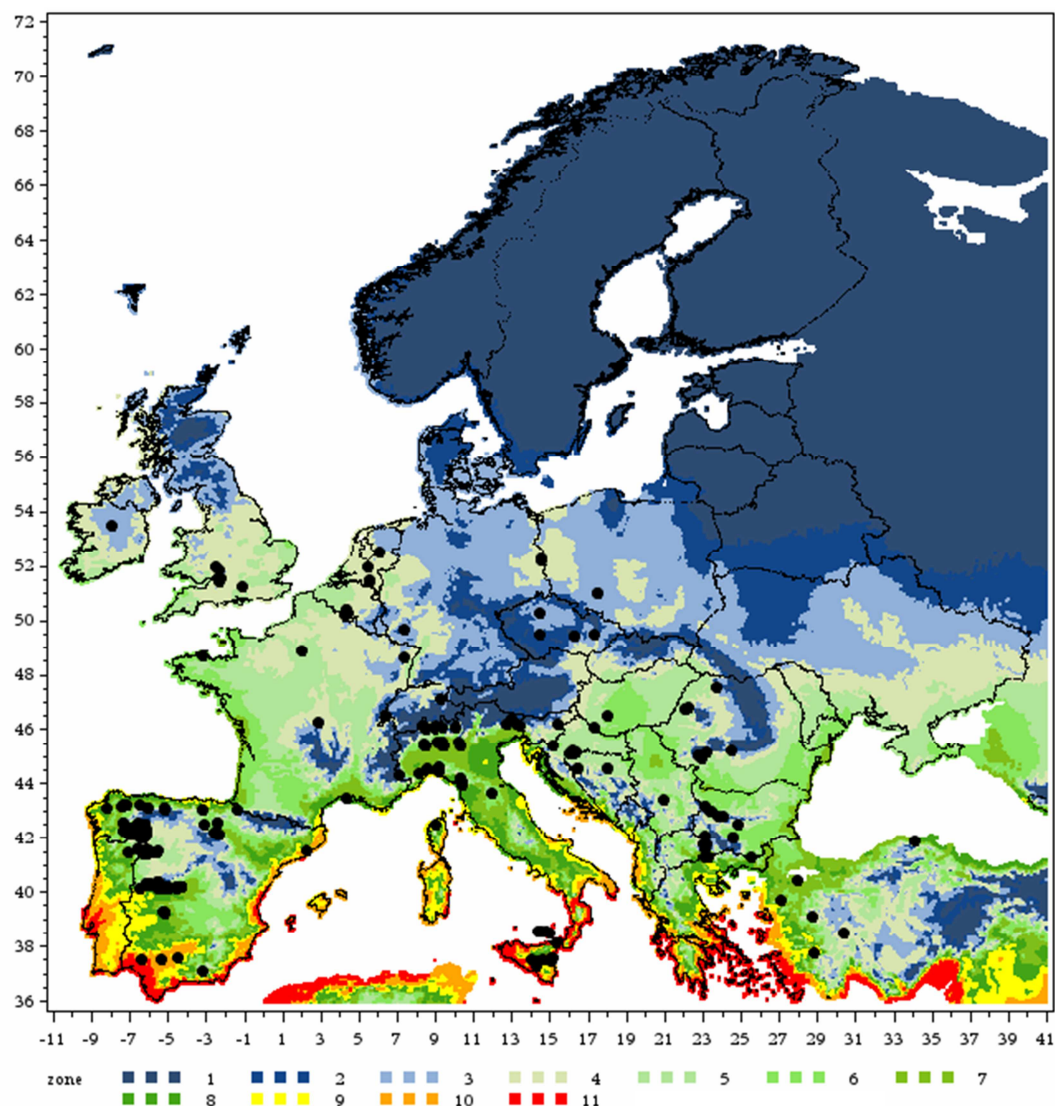
### **Den vestlige og centraleuropæiske genpulje**

Indenfor den vest- og centraleuropæiske genpulje vil der være mulighed for at vælge en række frøkilder fra lokaliteter, der ikke adskiller sig markant fra det danske klima mht. minimumstemperaturer i foråret. Til gengæld er der ikke overraskende forholdsvis stor forskel mht. fastlandsklimaindekset, hvis der vælges blandt centraleuropæiske populationer (Figur 6 og 7).

Det synes oplagt at forsøge at få frø fra en tysk frøkilde, som er en afprøvet frøplantage, og som anbefales til hele Tyskland (Tabel 2). Med hensyn til klimaforhold er frøkilden (vurderet ud fra dens placering, og ikke ud fra det genetiske materiale, der indgår i den) fra en noget koldere og mere fastlandspræget lokalitet end en mild lokalitet i Danmark (Figur 6 og Tabel 2).

Der er en enkelt irsk frøkilde, som ligger temmelig tæt på Danmark mht. forårstemperatur, men langt fra Danmark mht. fastlandsindeks og vinterfrost (se Tabel 2). Undersøgelsen af Mattioni et al. (2017) viser en forholdsvis høj genetisk diversitet i form af høj heterozygotigrad i den ene britiske population, der er undersøgt. Der er desværre ikke direkte sammenfald mellem de officielle frøkilder fra samme område i Storbritannien og populationen nævnt i Mattioni et al. (2017). Det synes under alle omstændigheder relevant at teste en eller flere af de i alt fem frøkilder i Storbritannien. Klimaet for disse frøkilder adskiller sig ikke meget fra klimaet på en mild lokalitet i Danmark mht. minimumstemperatur i foråret (Figur 6), men adskiller sig dog en del med milde vintertemperaturer i forhold til en mild lokalitet i Danmark (Tabel 2).

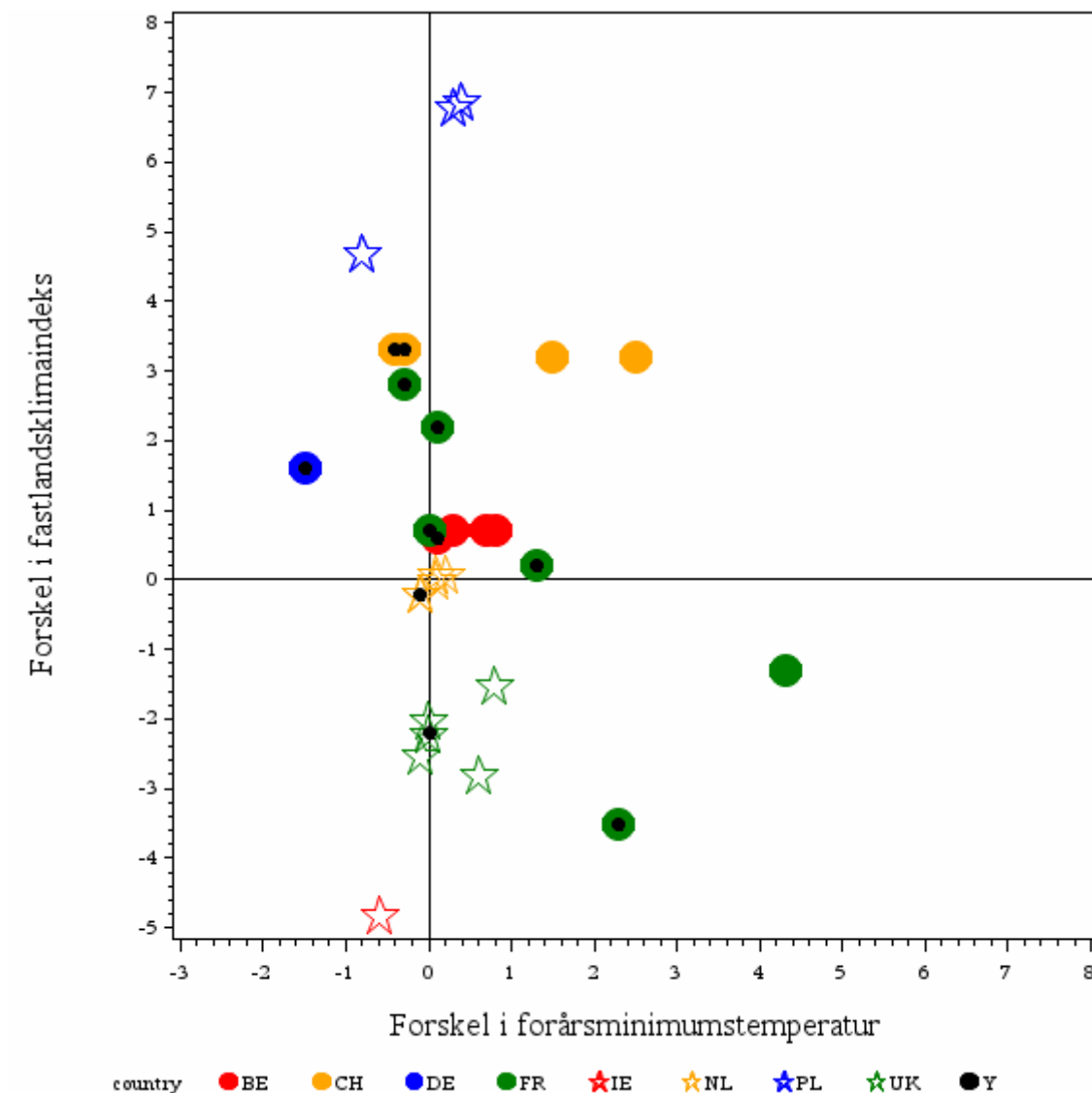




Figur 5. Placering af potentielle frøkilder med ægte kastanje i Europa (sorte prikker). Forstlige frøkilder i FORESMATIS databasen er suppleret med nationale forstlige frøkildelister samt bestande fra EUFGIS databasen med genbevaringsbestande. Genbevaringsbestande fra EUFGIS er kun vist for Tyrkiet samt det sydlige Italien. De viste klimazoner er lagt ud fra minimumstemperaturer i foråret (1961-1990). Zone 1:  $T_{min} \leq 2^{\circ}\text{C}$ , zone 2:  $2^{\circ}\text{C} < T_{min} \leq 3^{\circ}\text{C}$ , zone 3:  $3^{\circ}\text{C} < T_{min} \leq 4^{\circ}\text{C}$ , ... zone 11:  $11^{\circ}\text{C} < T_{min}$ .

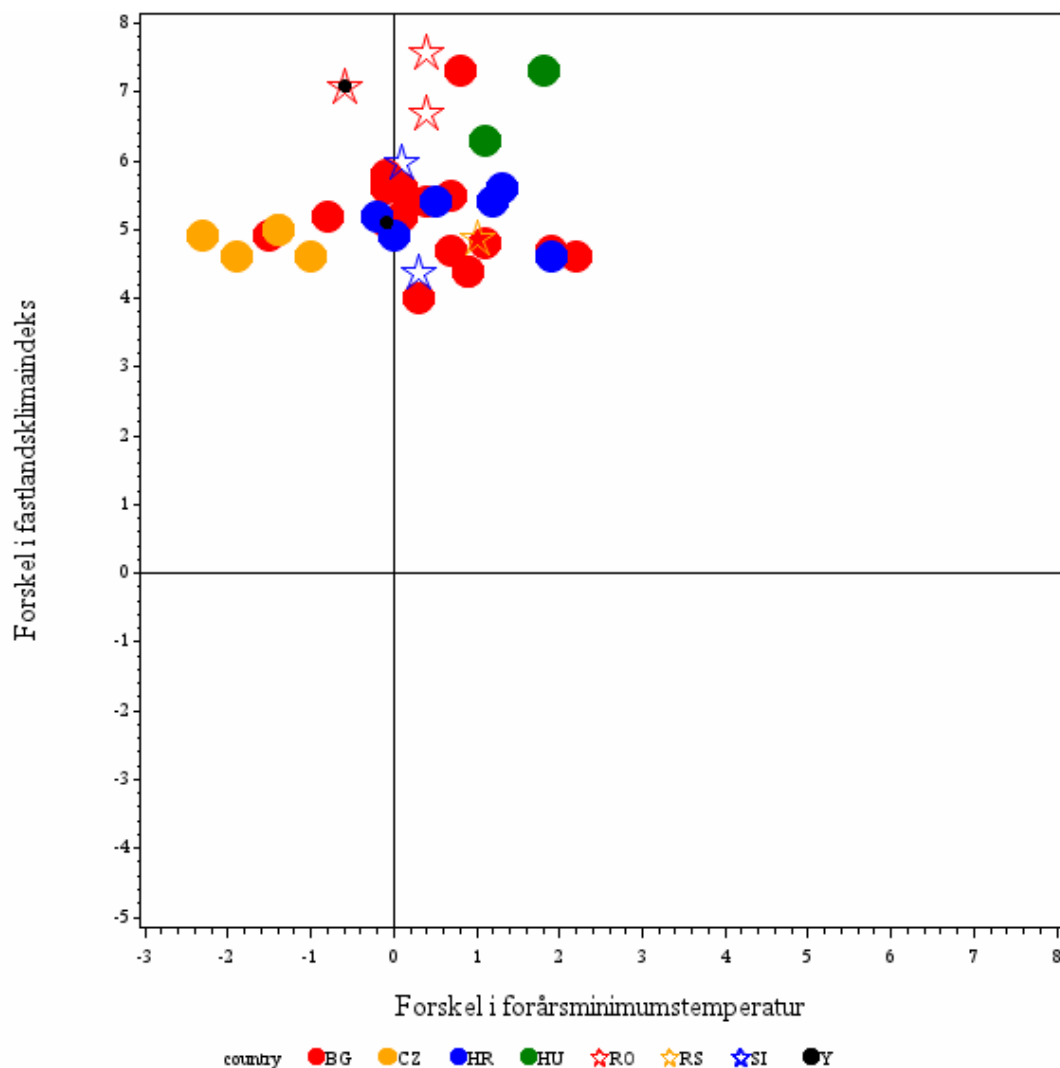
De belgiske og hollandske frøkilder ligger alle forholdsvis tæt på det danske klima, og der sigtes mod at afprøve 1-2 frøkilder fra Belgien/Holland.





Figur 6. Oversigt over frøkilder af ægte kastanje i det nordvestlige og nordøstlige Europa, og deres afvigelse i klima fra en mild lokalitet i Danmark (reference periode 1961-1990), hvor det er antaget, at minimumstemperaturen i foråret ligger på 4 °C, og at der er et fastlandsklimaindeks på 15 °C. En positiv værdi for minimumstemperatur i foråret viser, at frøkilden ligger i et klima, der er mildere end en mild lokalitet i Danmark. En positiv værdi for fastlandsklima viser, at frøkilden kommer fra et mere udpræget fastlandsklima. BE: Belgien, CH: Schweiz, FR: Frankrig, IE: Irland, NL: Holland, PL: Polen, UK: England, Y: Frøkilder udpeget som mulige kandidater.

Blandt de seks franske frøkilder kan fem være af interesse, mens der vil være en stor risiko for at materiale fra de to af disse frøkilder går tabt, hvis der kommer en kold vinter eller forår. To frøkilder skiller sig ud ved et mere udpræget fastlandsklima end en mild lokalitet i Danmark (Figur 6). Den ene frøkilde (ID 541 i Tabel 2) er lokaliseret tæt i bjergene (725 m o.h.) ved Middelhavet, men sandsynligvis i et område med forholdsvis høj allelrigdom (Mattioni et al. 2017). En proveniens fra Bretagne (ID 538 i Tabel 2) skiller sig ud med forholdsvis høj minimumstemperatur i foråret. Ses



Figur 7. Oversigt over frøkilder af ægte kastanje i det centrale og sydøstlige Europa og deres afvigelse i klima fra en mild lokalitet i Danmark (referenceperiode 1961-1990), hvor det er antaget, at minimumstemperaturen i foråret ligger på 4 °C, og at der er et fastlandsklimaindeks på 15 °C. BG: Bulgarien, CZ: Tjekkiet, HR: Kroatien, HU: Ungarn, RO: Rumænien, RS: Serbien, SI: Slovenien, Y: Frøkilder udpeget som mulige kandidater.

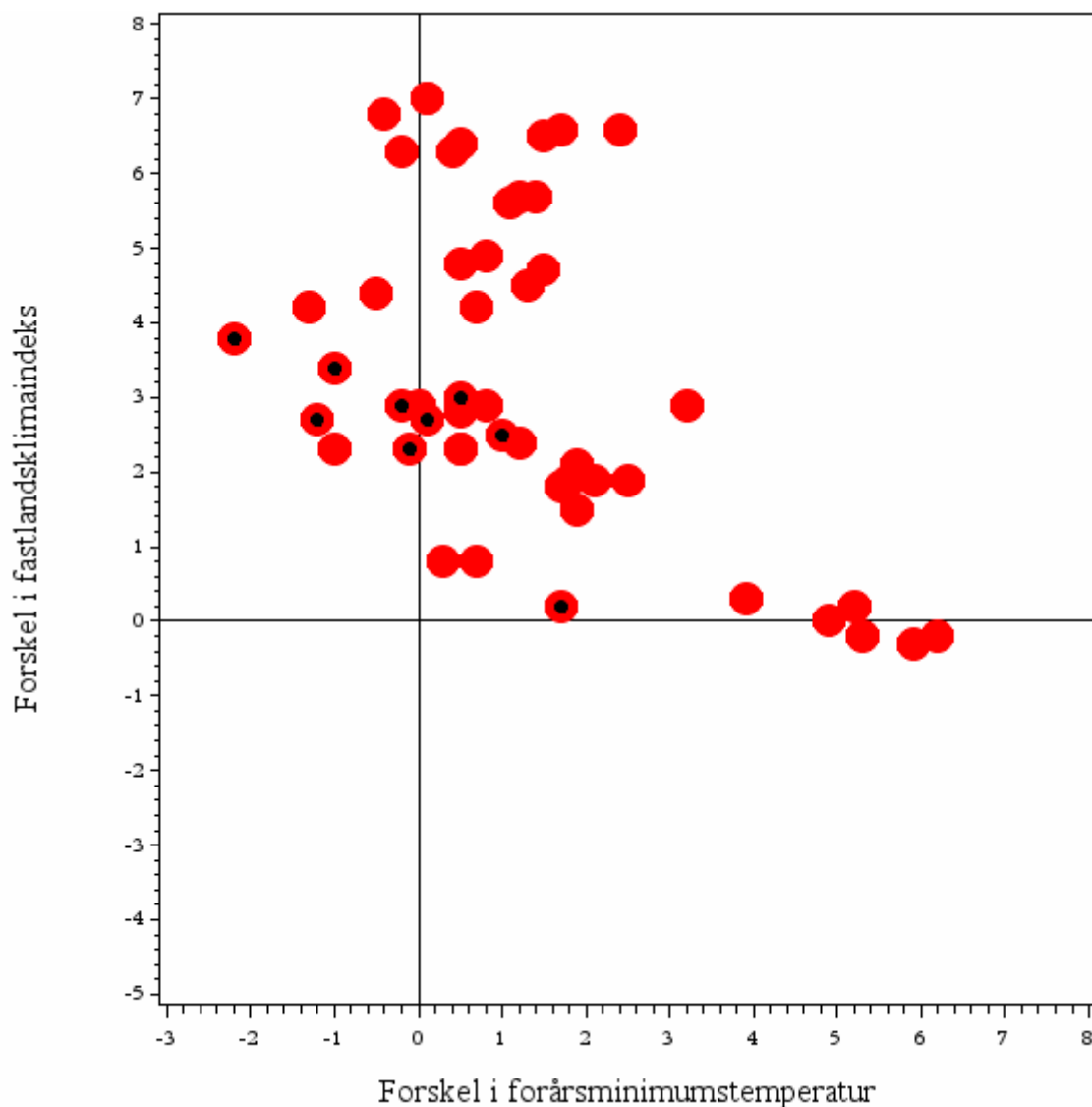
der på estimerterne for, hvornår den frostfri periode for denne proveniens starter, ligger den ca. 40 dage før tidspunktet på en mild lokalitet i Danmark (Tabel 2). Det er derfor forbundet med stor usikkerhed (risiko for øget dødelighed) at tage denne proveniens med i en afprøvning.

Frøkilderne i Schweiz og Polen ligger alle på lokaliteter med et mere udpræget fastlandsklima end en mild lokalitet i Danmark (Tabel 2).

I Mattioni et al. (2017) er der en række slovakiske populationer med forholdsvis lav diversitet, og det samme gør sig gældende for en enkelt norditaliensk population på grænsen til Schweiz. Så der er ikke indikationer for høj genetisk diversitet i omgivende områder op til Schweiz. Der kan dog forekomme store afvigelser fra mønstret (Mattioni et al. 2017), og derfor er der medtaget de to populationer i Schweiz, der ligger tættest på en mild lokalitet i Danmark mht. minimumstemperatur og ligger hhv. i det vestlige og sydlige Schweiz. Generelt er der forholdsvis moderat genetisk diversitet i de populationer, der er undersøgt fra Slovakiet, Rumænien og Ungarn. Dog er der en enkelt population fra Rumænien med høj allelrigdom (Mattioni et al. 2017), og som samtidig er opført som frøkilde i FORESMATIS. Den ligger i et område med udpræget fastlandsklima (Figur 7).

I Italien er der kun udpeget frøkilder til skovbrugsformål i det nordlige Italien, mens der i det sydlige Italien findes en række genbevaringspopulationer i EUFGIS databasen. I Italien er der fortrinsvist udvalgt bevoksninger i områder, hvor Mattioni et al. (2017) har fundet en høj genetisk diversitet. Flere af frøkilderne ligger i samme område, men i forskellig højde og med ret forskellig minimumstemperatur i forårsmånederne. I dette tilfælde er der valgt frøkilder fra de øverste højdelag, som må formodes at være mest vinterhårdføre. Det er muligt at vælge provenienser fra Syditalien fra forholdsvis store højder, hvis frostfri periode ikke ligger udenfor det interval, man vil finde på en mild lokalitet i Danmark (Figur 8 og Tabel 2).

Spanien er sammen med Italien et af de lande med flest frøkilder af ægte kastanje listet i FORESMATIS. Det er dog kun fem bevoksninger, der er bedømt som kvalificerede. Alle er karakteriseret ved forholdsvis høje forårstemperaturer og intervallerne for frostfri perioder stemmer meget dårligt overens med det nuværende danske klima (ikke vist). Den genetiske diversitet i de populationer fra Spanien, som er undersøgt af Mattioni et al. (2017), er moderat i forhold til f.eks. de italienske populationer. Der er dog en lille variation. Det ser dernæst ud til, at det er muligt at finde frøkilder (lokalitetsbestemt) fra et område, hvor der ifølge Mattioni et al. (2017) er lidt højere diversitet.



Figur 8. Oversigt over frøkilder af ægte kastanje i Italien og deres afvigelse i klima fra en mild lokalitet i Danmark (1961-1990), for hvilken det er antaget, at minimumstemperaturen i foråret ligger på 4 °C, og at der er et fastlandsindeks på 15 °C. Frøkilder udpeget som mulige kandidater er markeret med en prik.

#### Den sydøsteuropæiske genpulje

Denne pulje er hovedsageligt repræsenteret af frøkilder i Bulgarien, hvor den højeste genetiske diversitet sandsynligvis findes i de sydlige provenienser ved grænsen op mod Grækenland (Mattioni et al. 2017). Det kunne derfor være relevant at vælge en bevoksning fra dette område. Der er ikke listet frøkilder af ægte kastanje fra Grækenland i FORESMATIS eller i EUFGIS databasen.

## **Den tyrkiske genpulje**

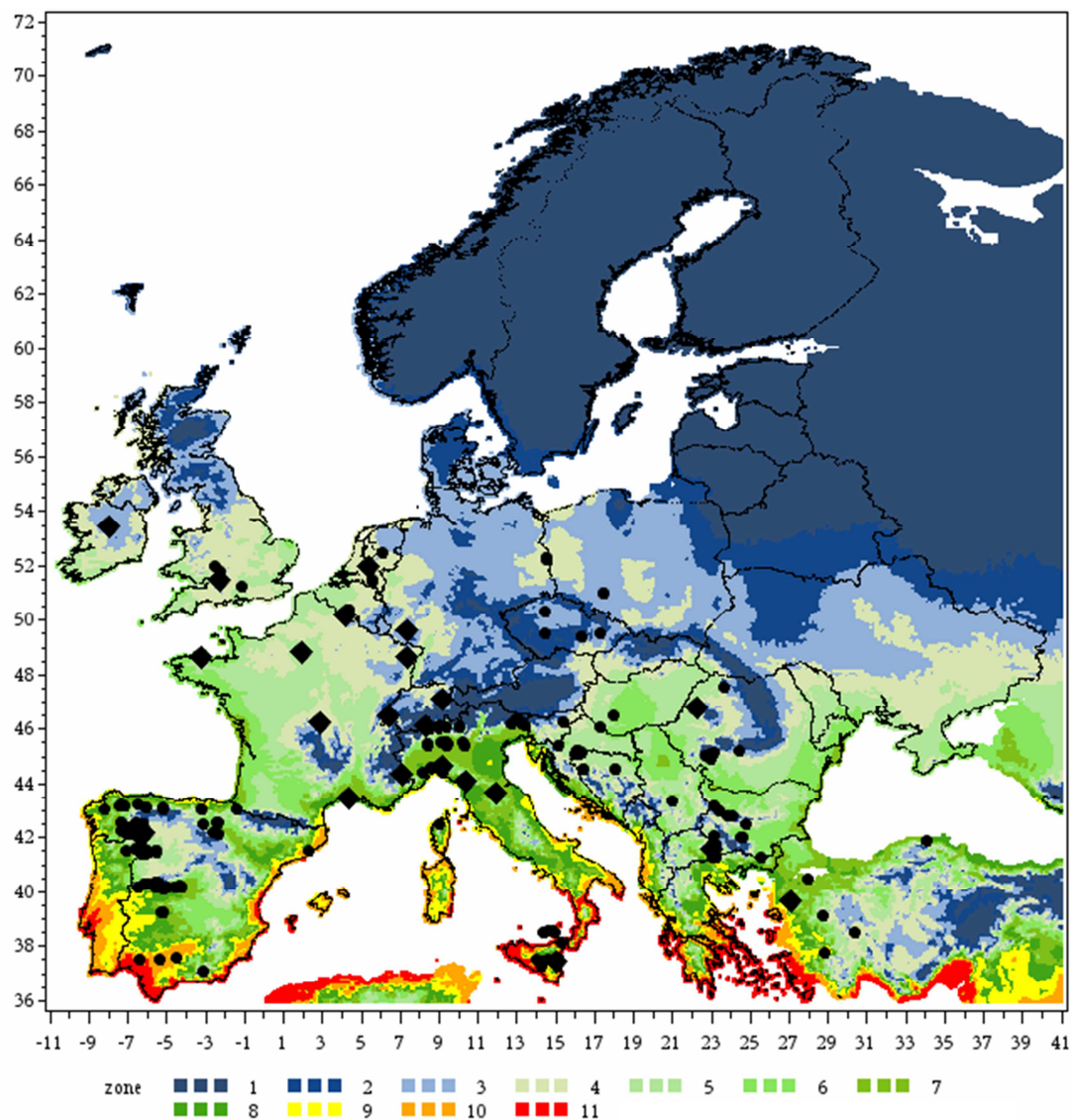
Der er ikke noget sammenfald med populationer undersøgt af Mattioni et al. (2017) og populationer listet i EUFGIS databasen. Det er imidlertid muligt at finde populationer fra områder, som ifølge Mattioni et al. (2017) formodentlig har høj genetisk diversitet. Kastanje herfra vil sandsynligvis have en rimelig chance for at overleve i Danmark baseret på data for minimumstemperatur i foråret og fastlandsindeks (Tabel 2).

## **Bruttoliste med potentielt interessante frøkilder**

Tabel 2 viser en foreløbig liste med potentielt interessante frøkilder, som dog nok er for omfattende og også indeholder frøkilder, der kan være kritiske at bruge, hvis der tillige ses på gennemsnitstemperaturen i den koldeste måned. Placeringen af de potentielle frøkilder er vist i figur. 9.

I sidste ende bliver det naturligvis tilgængeligheden af frø, der bliver afgørende for, hvilke frøkilder der kommer til at indgå i afprøvningen. Det afsøges primært hvilke frøkilder, der er tilgængelige. Der søges både en dækning af de 3 områder med højest genetisk diversitet og repræsentation fra områder, hvor arten er indført og dyrket. Der lægges i den forbindelse særlig vægt på nordlige potentielle frøkilder med god vækstkraft, stammeform og sundhed.

Erfaringerne med ægte kastanje i Danmark er meget begrænsede, og arten rummer væsentlige udfordringer i forhold til skadevoldere og vedkvalitet (Skovsgaard & Graversgaard 2019). Endvidere kan der være skovdyrkningsmæssige udfordringer (Skovsgaard & Graversgaard 2019). Omfanget af det foreslåede forsøg sigter primært på videnopbygning i forhold til flytning, men forsøget forventes også at kunne bidrage til dyrkningsteknisk, patologisk og vedteknologisk erfaringsindsamling. På grund af de nævnte usikkerheder, vil repræsentationen af frøkilder være begrænset, såvel i antal som i omfang. Der lægges derfor stor vægt på et velgrundet valg af hver enkelt frøkilde.



Figur 9. Lokalisering af potentielle frøkilder (sort rombe). Øvrige potentielt tilgængelige frøkilder er vist med sort. De viste klimazoner er lagt ud fra minimumstemperaturer i foråret (1961-1990). Zone 1:  $T_{min} \leq 2^{\circ}\text{C}$ , zone 2:  $2^{\circ}\text{C} < T_{min} \leq 3^{\circ}\text{C}$ , zone 3:  $3^{\circ}\text{C} < T_{min} \leq 4^{\circ}\text{C}$ , ... zone 11:  $11^{\circ}\text{C} < T_{min}$ .

Tabel 2. Bruttoliste med potentielle provenienser og med klimaestimer.

Land	Bredde grad	Længde grad	Højde over havet	Kategori	Minimumstemperatur (°C) forår (Marts, April, Maj)	Minimumstemperatur (°C) vinter (Dec., Jan., Feb.)	Minimumstemperatur (°C) efterår (Sep, Okt, Nov)	MCMTMiddeltemperatur (°C) i koldeste måned	Forskel mellem middeltemperatur i koldeste og varmeste måned (°C)	Tørkeindeks udtrykt ved (middeltemperatur i varmeste måned)/((kumuleret nedbør fra maj-	Første dag i frostfri periode	Sidste dag i frostfri periode
IT	37.48	15.03	1600	1	1.8	-3	5.4	0.6	18.8	236	123	297
DE	49.68	7.33	418	4	2.5	-2.5	4.4	-0.6	16.6	47	116	290
IT	44.65	9.16	1100	1	2.8	-3.1	5.3	-1.1	17.7	28	106	298
IT	46.16	8.34	800	2	3.0	-3.3	5	-0.9	18.4	22	108	297
ES	42.21	-6.11	1010	1	3.3	-1.1	5.3	2.3	16.9	106	118	302
IE	53.50	-8.00	125	1	3.4	1.4	5.8	4	10.2	37	103	309
RO	46.81	22.26	485	0	3.4	-5.1	4.3	-3.7	22.1	57	106	288
CH	46.51	6.42	516	1	3.6	-2.3	5.4	-0.1	18.3	40	106	299
CH	47.11	9.21	550	2	3.7	-2.6	5.9	-0.5	18.3	21	104	302
FR	48.66	7.38	330	2	3.7	-2	5.4	-0.1	17.8	47	105	300
BG	41.60	23.08	850	2	3.9	-3.1	5.7	-0.6	20.1	91	105	299
NL	52.00	5.41	30	2	3.9	-0.5	6.4	1.7	14.8	48	98	308
FR	46.27	2.85	345	2	4.0	-0.6	6.2	2.4	15.7	45	104	307
UK	51.53	-2.25	140	2	4.0	0.8	6.3	3.2	12.8	52	94	311
BE	50.21	4.22	210	2	4.1	-0.7	6.3	1.1	15.6	45	100	309
FR	43.48	4.34	725	2	4.1	-1.5	6.4	2.4	17.2	120	103	307
IT	44.11	10.35	950	3	4.1	-1	7.2	0.6	17.7	35	94	311
TU	39.70	27.05	800	1	4.7	-0.1	7.5	2.4	18.4	150	95	313
IT	43.66	11.91	810	1	5.0	0.2	8	1.9	17.5	54	83	319
FR	48.87	1.97	118	2	5.3	0.7	7.2	2.8	15.2	66	84	317
IT	44.34	7.13	700	1	5.7	1.3	9	3.4	15.2	43	69	329
FR	48.68	-3.23	56	2	6.3	3.3	9.5	5.4	11.5	65	47	342

Estimer for en mild dansk lokalitet for perioden 1961-1990: Minimumstemperatur i foråret = 4 °C, første frostfri dag = 83, sidste frostfri dag = 321, middeltemperatur i koldeste måned = 1.1 °C, forskel mellem middeltemperatur i koldeste og varmeste måned = 15.6 °C, tørkeindeks = 46.8. Estimer for en mild dansk lokalitet for perioden 1981-2009: Minimumstemperatur i foråret = 4.7 °C, første frostfri dag = 72, sidste frostfri dag = 325, middeltemperatur i koldeste måned = 2.1 °C, forskel mellem middeltemperatur i koldeste og varmeste måned = 15.5 °C, tørkeindeks = 48.2 (Estimer fra ClimateEU v. 4.63).

## Referencer

- Alberto, F.J., Aitken, S.N., Alía, R., González-Martínez, S.C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefèvre, F., Lenormand, T., Yeaman, S., Whetten, R. & Savolainen, O. (2013). Potential for evolutionary responses to climate change – evidence from tree populations. *Glob. Change Biol.* 19: 1645-1661.
- Bazzigher, G. (1981). Selection of blight-resistant chestnut trees in Switzerland. *Eur. J. For. Path.* 11: 199-207.
- Cappelen, J. (2012). Technical Report 13-02 Denmark - DMI Historical Climate Data Collection 1768-2012 (with Danish Abstracts).
- Chanson, B., Leban, J.M. & Thibaut, B. (1989). La roulure du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.). *Forêt Méditerranéenne* 11: 15-34.
- Chmura, D.J., & Rozkowski, R. (2002). Variability of Beech Provenances in Spring and Autumn Phenology. *Silv. Gen.* 51: 123-127.
- Conedera, M., Tinner, W., Krebs, P., de Rigo, D. & Caudullo, G. (2016). *Castanea sativa* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayán, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg.
- Cuenca, B., Ocaña, L., Salinero, C., Pintos, C., Mansilla, J.P. & Rial, C. (2009). Selection of *Castanea sativa* Mill. for resistance to *Phytophthora cinnamomi*: Micropropagation and testing of selected clones. In: ISHS Acta Hort. Leuven, Belgium: 866 I Eur. Congr. Chestnut – Castanea 2009; 2010. p. 111–9.).
- Dinis, L.-T., Peixoto, F., Zhang, C., Martins, L., Costa, R. & Gomes-Laranjo, J. (2011). Physiological and biochemical changes in resistant and sensitive chestnut (*Castanea*) plantlets after inoculation with *Phytophthora cinnamomi*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 75: 146-156.
- Fernández-Cruz, J. & Fernández-López, J. (2016). Genetic structure of wild sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) populations in northwest of Spain and their differences with other European stands. *Conserv Genet* 17: 949–967. DOI 10.1007/s10592-016-0835-4



- Fonti, P. & Frey, B. (2002). Is ray volume a possible factor influencing ring shake occurrence in chestnut wood? *Trees* 16: 519–522.
- Fonti, P., Bräker, O.-U. & Giudici, F. (2002a). Relationship between ring shake incidence and earlywood vessel characteristics in chestnut wood. *IAWA Journal* 23: 287– 298.
- Fonti, P., Macchioni, N. & Thibaut, B. (2002b). Ring shake in chestnut (*Castanea sativa* Mill.): State of the art. *Annals of Forest Science* 59: 129-140.
- Fonti, P. & Sell, J. (2003). Radial split resistance of chestnut earlywood and its relation to ring width. *Wood and Fiber Science* 35: 201-208.
- Forestry Commission (2018). Sweet chestnut blight (*Cryphonectria parasitica*).  
<https://www.forestryresearch.gov.uk/tools-and-resources/pest-and-disease-resources/sweet-chestnut-blight-cryphonectria-parasitica/>
- Geßler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., & Rennenberg H. (2007). Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate. *Trees* 21: 1-11. DOI 10.1007/s00468-006-0107-x
- Gibbs, M., Schönrogge, K., Alma, A., Melika, G., Quacchia, A., Stone, G.N. & Aebi, A. (2011). *Torymus sinensis*: a viable management option for the biological control of *Dryocosmus kuriphilus* in Europe? *BioControl* 56: 527–538.
- Hamann, A., Wang, T., Spittlehouse, D.L. & Murdock, T. Q. (2013). A comprehensive, high-resolution database of historical and projected climate surfaces for western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society* 94: 1307-1309.
- Holten, J. (1953). Fremmede løvtræer i danske skove. *Dansk Dendrologisk Årsskrift* II: 105-115.
- Husmann, K., Saborowski, J. & Hapla, F. (2013). Ursachenanalyse der Ringschäle bei Edelkastanie (*Castanea sativa* [Mill.]) in Rheinland-Pfalz. *Forstarchiv* 84: 107-118.
- Jensen, J.S., & Hansen, J.K. (2008). Geographical variation in phenology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl and *Quercus robur* L. oak grown in a greenhouse. *Scandinavian Journal of Forest* 23: 179-188. Research <https://doi.org/10.1080/02827580801995331>

- Larsen, J.B. (1981). Waldbauliche und ertragskundliche erfahrungen mit verschiedenen provenienzen der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Dänemark. Forstwissenschaftliches Centralblatt 100: 275-286.
- Lobo, A., Hansen, J.K. & Kjær, E.D. (2018a). Differences among six woody perennials native to Northern Europe in their level of genetic differentiation and adaptive potential at fine local scale. Ecology and evolution 8: 2231-2239.
- Lobo, A., Hansen, O.K., Hansen, J.K., Erichsen, E.O., Jacobsen, B. & Kjær, E.D. (2018b). Local adaptation through genetic differentiation in highly fragmented *Tilia cordata* populations. Ecology and Evolution 8: 5968–5976.
- López-Villamor A, Fernández-López, J., Míguez-Soto, B., & Sánchez, M.E. (2018). Resistance to *Phytophthora cinnamomi* in *Castanea* spp. is under moderately to high genetic control mainly because of additive genetic variance. Euphytica 214: 230. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2309-x>
- Mather, R.A., Kanowski, K.J.& Savill, P.S. (1993). Genetic determination of vessel area in oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* Liebl.): a characteristic related to the occurrence of stem shakes. Annals of Forest Science 50, suppl. 1: 395-398.
- Mattioni, C., Martin, A., Chiocchini, F., Cherubini, M., Gaudet, M., Pollegioni, P., Velichkov, I., Jarman, R., Chambers, F.M., Paule, L., Damian, V.L., Crainic, G.C. & Villani, F. (2017). Landscape genetics structure of European sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill): indications for conservation priorities. Tree Genetics & Genomes 13: 39. DOI 10.1007/s11295-017-1123-2.
- Míguez-Soto, B. & Fernández-López, J. (2012) Genetic parameters and predicted selection responses for timber production traits in a *Castanea sativa* progeny trial: developing a breeding program.
- Míguez-Soto, B. & Fernández-López, J. (2015) Variation in adaptive traits among and within Spanish and European populations of *Castanea sativa*: selection of trees for timber production. New Forests 46: 23-50.

- Miranda-Fontaíña, M.E., Fernández-López, J., Vettraino, A.M., & Vannini, A. (2007) Resistance of *Castanea* Clones to *Phytophthora Cinnamomi*: Testing and Genetic Control. *Silv. Genet.* 56: 11-21. <https://doi.org/10.1515/sg-2007-0002>
- Moriz, C. & Agudo, R. (2013) The future of species under climate change: resilience of decline? *Science* 341: 504-508.
- Mutabaruka, M., Cook, H.F., Buckley, G.P. (2015) Effects of drought and nutrient deficiency on grafts originating from sound and shaken sweet chestnut trees (*Castanea sativa* Mill.). *Forest* 9: 109-114.
- Mutabaruka, M., Woodgate, G.R., Buckley, G.P. (2005) External and internal growth parameters as potential indicators of shake in sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.). *Forestry* 78: 175-186.
- Olesen, M., Madsen, K.S., Ludwigsen, C.A., Boberg, F., Christensen, T., Cappelen, J., Christensen, O.B., Andersen, K.K., Christensen, J.H. (2014). Fremtidige klimaforandringer i Danmark. Dansk Klimacenter rapport 6, Danmarks Meteorologiske Institut. ISBN: 978-87-7478-652-8, 35 pp.
- Pliura, A. & Ericsson, G. (2002). Genetic variation in juvenile height and biomass of open-pollinated families of six *Castanea sativa* MILL. populations in a 2 x 2 factorial temperature x watering experiment. *Silv. Genet.* 51: 152-160.
- Rehfeldt, G.E., Ying, C.C., Spittlehouse, D.L., & Hamilton Jr., D.A. (1999). Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: niche, breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs* 69: 375-407.
- Rehfeldt, G.E., Tchebakova, N.M., Parfenova, Y.I., Wykoff, W.R., Kuzmina, N.A. & Milyutin, L.I. (2002) Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* 8: 912-929. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00516.x>
- Robin, C., Morel, O., Vettraino, A.M., Perlerou, C., Diamandis, S. & Vannini, A. (2006). Genetic variation in susceptibility to *Phytophthora cambivora* in European chestnut (*Castanea sativa*). *Forest Ecology and Management* 226(1-3): 199-207.

Robson, T.M., Rasztovits, E., Aphalo, P.J., Alia, R., & Aranda, I. (2013). Flushing phenology and fitness of European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances from a trial in La Rioja, Spain, segregate according to their climate of origin. *Agricultural and Forest Meteorology* 180: 76-85.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.05.008>

Savill, P. (2019). *Silviculture of trees in British Forestry*. 3rd ed. Wallington: CABI . ISBN: 9781786393937 (ePDF).

Savill, P. (1986). Anatomical characters in the wood of oak (*Quercus robur* and *Quercus petraea* Liebl.) which predispose trees to shake. *Commonwealth Forestry Review* 65: 109-116.

Savill P.S. & Mather, A. (1990). Possible Indicator of Shake in Oak: Relationship between Flushing Dates and Vessel Sizes. *Forestry* 63: 355-362.

Sgubin, G., Swingedouw, D., Drijfhout, S., Mar, Y., & Bennabi, A. (2017). Abrupt cooling over the North Atlantic in modern climate models. *Nature Communications* 8: 14375, DOI: 10.1038/ncomms14375.

Skov, F., Svenning, J.-C. & Normand, S. (2006). Sandsynlige konsekvenser af klimaændringer på artsudbredelser og biodiversitet i Danmark. Potentielle konsekvenser af klimaændringer for artsudbredelser og biodiversitet i Danmark med karplanter som eksempel. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøprojekt Nr. 1120.

Skovsgaard, J.P. & Graversgaard, H.C. 2019: Ægte kastanje - et dansk skovtræ i fremtiden, men hvor, hvordan og hvorfor? *Skoven* 51: 212-215.

Trapiello, E., Rigling, D. & González, A.J. (2017). Occurrence of hypovirus-infected *Cryphonectria parasitica* isolates in northern Spain: an encouraging situation for biological control of chestnut blight in Asturian forests. *Eur J Plant Pathol* (2017) 149: 503. DOI 10.1007/s10658-017-1199-4.

Vannini, A. & Vettrai, A. (2011). *Phytophthora cambivora*. *Forest Phytophthoras* 1: DOI: 10.5399/osu/fp.1.1.1811.

Vinciguerra, V., Spina, S., Luna, M., Petrucci, G., & Romagnoli, M. (2011). Structural analysis of lignin in chestnut wood by pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 92: 273–279.

Woollings, T.D., Barriopedro, J., Methven, S.-W., Son, O., Martius, B., Harvey, J., Sillmann, A.R., Lupo & S. Seneviratne (2018). Blocking and its Response to Climate Change. *Current Climate Change Reports* 4:287–300. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0108-z>.

Wühlisch, G. von, Krusche, D., Muhs, H.J.- (1995) Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silv. Gen.* 44: 343-346.